



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**NÁVRH A REALIZACE MANIPULAČNÍHO  
ZAŘÍZENÍ PRO MOBILNÍ ROBOT**

DESIGN AND REALIZATION OF MANIPULATOR FOR MOBILE ROBOT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Martin Konečný**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Martin Konečný</b>
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh a realizace manipulačního zařízení pro mobilní robot

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z možných úkolů mobilního robotu je převoz nákladu. Podstatou práce je navrhnout a prototypově realizovat zařízení, které umožní nakládku a vykládku nákladu.

### Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte analýzu možných principů manipulace s nákladem.
2. Vyberte perspektivní variantu s uvažováním možných omezení (prostorových, výkonových).
3. Vybranou variantu rozpracujte do fáze prototypu.

### Seznam doporučené literatury:

HABIB P.: Engineering Creative Design in Robotics and Mechatronics, IGI Global, 2013.

KUMAR et. al.: Design and Optimization of Mechanical Engineering Products, IGI Global, 2018.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav  
Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a prototypovou realizací manipulačního zařízení pro mobilní robot. Jedním z možných využití robotu je převoz pošty ve firmě na jednotlivá oddělení. Cílem práce je navrhnout zařízení, které by umožnilo nakládku a vykládku zásilek na mobilní robot.

## **Abstract**

This Bachelor's thesis describes a design and prototype realization of manipulator for mobile robot. One of the possible uses of the robot is to transport mail in a company to individual departments. The aim of this thesis is to design a device, that would enable loading and unloading of the packages to a mobile robot.

## **Klíčová slova**

Manipulátor, mobilní robot, převoz nákladu,

## **Keywords**

Manipulator mobile robot, load transport

## **Bibliografická citace**

KONEČNÝ, Martin. *Návrh a realizace manipulačního zařízení pro mobilní robot* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124653>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Krejsa..

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Návrh a realizace manipulačního zařízení pro mobilní robot“ jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou řádně citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně ..... dne .....

Martin

Konečný

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky během zpracování mé bakalářské práce.

---

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Formulace problému a stanovení cílů práce</b>	<b>2</b>
<b>3. Systémy transportu</b>	<b>3</b>
3.1 Systém postupného převážení nákladu . . . . .	3
3.1.1 Modifikace se čtyřmi odděleními . . . . .	4
3.1.2 Modifikace s osmi odděleními . . . . .	6
3.1.3 Modifikace oddělení do kancelářského uspořádání. . . . .	7
3.2. Systém hromadného převážení zboží . . . . .	8
3.2.1 Modifikace se čtyřmi odděleními . . . . .	8
3.2.2. Modifikace s osmi odděleními . . . . .	10
3.2.3. Modifikace do kancelářského uspořádání . . . . .	11
3.3. Vyhodnocení . . . . .	12
<b>4. Výběr perspektivní varianty</b>	<b>12</b>
4.1. Spolupráce s lidmi . . . . .	12
4.2. Přeprava v boxu . . . . .	12
4.3. Nakládací/vykládací stanice . . . . .	13
4.4. Robot . . . . .	13
4.5. Výběr finální varianty . . . . .	14
<b>5. Analýza možných principů manipulace s nákladem</b>	<b>15</b>
5.1. Princip fungování stanice . . . . .	15
5.2. Návrhy stanice . . . . .	15
5.2.1. Sklápění dna . . . . .	16
5.2.2. Vysouvání dna . . . . .	16
5.2.3. Zasouvání dna . . . . .	17
5.2.4. Otáčení dna . . . . .	17
5.2.5. Sklápění dna . . . . .	18
5.3. Výběr mechanismu stanice . . . . .	18
<b>6. Návrh prototypů</b>	<b>18</b>
6.1. Návrh nakládací stanice . . . . .	19
6.1.1. Pohybový mechanismus . . . . .	19
6.1.2. Návrh nosné konstrukce . . . . .	20
6.1.3. Návrh pojízdného dna . . . . .	22



<b>6.2. Návrh vykládajícího zařízení</b>	<b>22</b>
6.2.1. Nosná konstrukce . . . . .	23
6.2.2. Dno . . . . .	23
6.2.3. Vačka . . . . .	24
6.2.4. Dynamická analýza . . . . .	24
<b>7. Závěr</b>	<b>25</b>
<b>8. Seznam použitých zdrojů</b>	<b>26</b>
<b>9. Seznam použitých obrázků</b>	<b>27</b>

# 1. Úvod

Velkým trendem dnešní doby je automatizace. Doba jde rychle dopředu, a právě ani tohle odvětví nezůstává pozadu. Právě naopak. Je to obor, který se rychle rozvíjí. Firmy se snaží veškeré své systémy a výrobní procesy modernizovat, aby bylo vše co nejméně závislé na člověku a naopak, co nejvíce samostatné. A není se čemu divit, automatizace má mnoho výhod, například: je rychlejší a plynulejší, výroba je přesnější, stojí nepotřebují odpočívat a mohou pracovat nonstop, vše je levnější, a navíc se snižuje riziko lidské chyby. Samozřejmě má i nevýhody, velká pořizovací cena, náklady na provoz a údržbu. Proto musí být celý systém navržen tak, aby byl systém co nejlevnější, nejefektivnější a splňoval bezpečnostní normy.

A právě tohle je náplní mé bakalářské práce. Navrhnout systém, který umožní přepravu lehkého nákladu po firmě a kancelářích, a zároveň splňoval výhody automatizace. Robot pro přepravu je již hotový, proto jsem se mohl zaměřit jen na zařízení, které bude nakládat a vykládat zásilky na mobilní robot. Mechanismus musí být jednoduchý a levný na výrobu, aby i cena mohla být co nejnižší. Obsahoval co nejméně součástí a pohyblivých částí. A hlavně, musí být co nejvíce samostatný a pracovat bez vnějšího zásahu člověka.

Proto abych mohl začít pracovat, potřeboval jsem znát co nejvíce věcí. Musel jsem znát robota, který bude zboží převážet, potřeboval jsem vědět, jaký bude používat systém doručování, v jakém bude pracovat prostředí nebo jak bude náklad převážet. Některé informace jsem dostal hned na začátku, ale některé věci nebyly ještě vyřešeny, proto jsem se jimi zabýval také a stali se součástí mé bakalářské práce.

## **2. Formulace problémů a stanovení cílů práce**

Jedním z možných úkolů mobilního robotu je převoz nákladu. Cílem mé bakalářské práce je navrhnout zařízení, které zajistí nakládku a vykládku zboží na již zmíněného robota.

Aby bylo možné začít navrhovat vhodné zařízení, je potřeba znát velké množství informací předem, ještě před samotným návrhem, například:

- Který robot bude náklad převážet, jeho velikost, nosnost a další parametry
- Systém, kterým se bude zboží převážet, poveze se vše zároveň nebo po jednotlivých odděleních?
- Jak velkou nezávislost na člověku požadujeme
- Prostředí, ve kterém budeme zařízení provozovat a prostorová omezení
- Typ a velikost nákladu

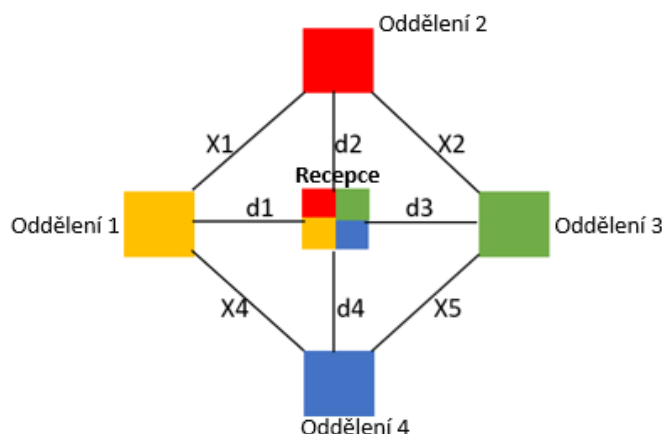
A mnoho dalších. Na základě domluvy s vedoucím práce byly stanoveny následující cíle práce:

1. Zpracovat analýzu možných principů manipulace s nákladem.
2. Vybrat perspektivní variantu s uvažováním možných omezení (prostorových, výkonových).
3. Vybranou variantu rozpracovat do fáze prototypu.

### 3. Systémy transportu

Náklad se bude skládat na jednom místě, odkud bude rozvážen dále. Tedy, pošta se bude shromažďovat na recepci, ze které se bude distribuovat na jednotlivé oddělení. Existují dvě možnosti, jak zboží rozvážet. První možností je, že se pošta roztřídí už na recepci, a poté bude rozvážena postupně po jednotlivých oddělení. Nebo se naloží vše najednou, a k výběru správné pošty dojde vždy při vykládání na daném oddělení. Každá z možností má své výhody a nevýhody, ať už technické, výrobní, logistické či finanční. Proto byly obě varianty podrobněji prozkoumány v kapitole 3.1. a kapitole 3.2. Výběr správného systému transportu nákladu je zásadní, neboť na něm závisí vše ostatní. Od výběru vhodného systému se odvíjí třídění pošty, metoda nakládání a vykládání nákladu, a tedy i technické a konstrukční provedení.

Proto byl vytvořen jednoduchý model, na kterém byly demonstrovány některé výhody a nevýhody jednotlivých systémů. Udělalo se schéma, které představuje uspořádání ve firmě, která má recepci a několik oddělení, na které se bude rozvážet pošta. Každé oddělení má určitou vzdálenost od recepcce i od dalších oddělení. Možnost jednoho rozdělení ukazuje *Obr. 3.1*. Další varianty budou představeny a použity v kapitolách 3.1. a 3.2.



*Obr. 3.1. Obecné umístění čtyř oddělení*

#### 3.1 Systém postupného převážení nákladu

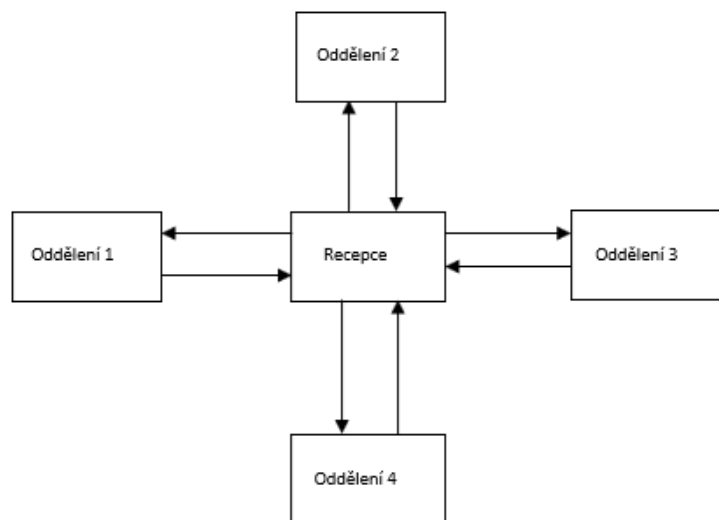
Systém postupného převážení pošty, je systém, kdy dojde k roztřizení pošty na jednotlivá oddělení již na recepci. Robot se naloží poštou určenou na jedno oddělení, poté ji převezí a na konci vyloží. Po vyložení pošty se robot vrátí zpět, naloží se zásilkou na druhé oddělení, kterou odveze a stále dokola, dokud není vše doručeno. K analýze byl použit stejný model, jako v minulé kapitole. Tento systém byl modifikován na několik různých variant rozmístění oddělení. Pro každou modifikaci byla spočítána efektivita rozvozu.

### 3.1.1. Modifikace se čtyřmi odděleními

V tomto modelu byly uvažovány čtyři oddělení, které neleží vedle sebe. Každé oddělení má danou vzdálenost od recepce. Pro výpočet efektivnosti rozvážky byly použity jednotlivé vzdálenosti, rychlost robota a nosnost robota.

Budeme uvažovat, že robot pojede vždy plně naložený. Výpočet byl proveden následujícím způsobem. Vypočetla se celková délka trasy, kterou robot urazil. Pomocí známe rychlosti robota se určila doba, za kterou robot trasu urazil. Připočetl se čas, který robot strávil nakládáním a vykládáním. Aby bylo možné jednotlivé systémy mezi sebou porovnávat, bylo potřeba výsledek převést na jednotnou veličinu, shodnou pro všechny modifikace. A to převezené gramy za sekundu.

Během provádění výpočtů nebyl robot ještě dokončený, proto jsou jeho parametry teoretické. Také nakládací a vykládací zařízení není dokončené. Jeho návrh ještě ani nezačal, proto nelze přesně určit čas nakládky/vykládky. Pro výpočty byly zvoleny dva teoretické časy - jedna minuta a dvě minuty.



Obr. 3.1.1. Modifikace se čtyřmi odděleními

#### Vstupní parametry:

Rychlost robota ..... 0,5 m/s  
Nosnost robota ..... 4000 g  
Doba, strávená nakládáním nebo vykládáním ..... 1 minuta/ 2 minuty

### Seznam použitých veličin:

Vzdálenost i-tého oddělení od recepcce .....  $d_i$  [m]  
celková vzdálenost .....  $d_{\text{celk}}$  [m]  
Čas v sekundách .....  $t_s$  [s]  
čas v minutách .....  $t_{\text{celk}}$  [s]

### Výpočet:

Celková vzdálenost:

$$d_{\text{celk}} = 2 \cdot (d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \quad (3.1.1.)$$

Průměrná délka cesty:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4} \quad (3.1.2)$$

Doba trvání jízdy:

K času jízdy bylo potřeba přičíst čas nakládání a vykládání. Robot tento úkon provedl celkem osmkrát. Pro jednu minutu přičteme tedy + 8 a pro 2 minuty +16.

$$t_s = \frac{d_{\text{celk}}}{0,5} \quad (3.1.3)$$

Výsledek je v sekundách, vydělením číslem 60 jej převedeme na minuty.

$$t = t_s/60 + 8 \text{ minut}/16 \text{ minut} \quad (3.1.4)$$

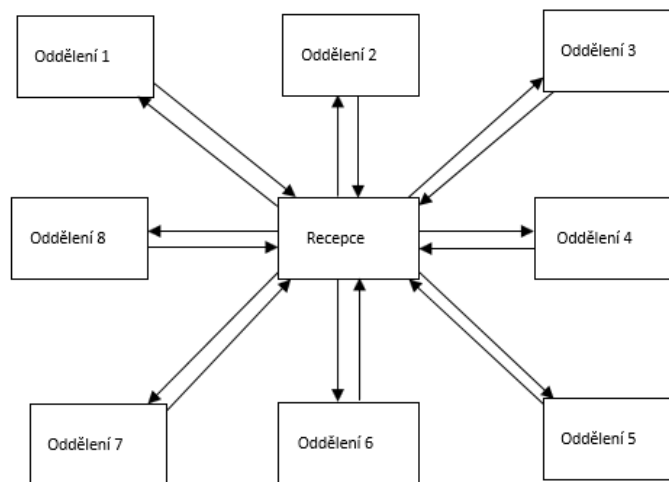
Robot má nosnost 4 Kg. Na jedno převezení je tedy možné dovézt 4000 g nákladu na jedno oddělení. Přepočtem  $4000/t$ , zjistíme, kolik nákladu robot rozveze za jednu minutu.

Celý postup byl proveden šestkrát, pro různé vzdálenosti oddělení. Výsledky ukazuje tabulka Tab. 3.1.1.

Tab. 3.1.1.											
Na 1 oddělení – 4Kg								1 min/zas.		2 min/zas.	
d1	d2	d3	d4	$\bar{d}$	$d_{\text{celk}}$	$t_s$ [s]	$t$ [min]	t + 8	g/min	t + 16	g/min
10	20	30	50	27,5	220	440	7,3	90	260,9	23,3	171,4
20	40	60	100	55	440	880	14,7	22,7	176,5	30,7	130,4
5	40	60	100	51,3	410	820	13,7	21,7	184,6	29,7	134,8
5	10	80	100	48,8	390	780	13,0	21,0	190,5	29,0	137,9
100	100	100	100	100	800	1600	26,7	34,7	115,4	42,7	93,8
10	10	10	10	10	80	160	2,7	10,7	375,0	18,7	214,3

### 3.1.2. Modifikace s osmi odděleními

Modifikace s osmi odděleními je obdobná té se čtyřmi, ale v tomto případě nejsou oddělení čtyři, ale je jich osm. Výpočet je obdobný tomu, který byl použit pro 4 oddělení. V tomto případě se počítalo jen s 1 minutou na zastávku a s jednou konfigurací délek.



Obr. 3.1.2 Modifikace s osmi odděleními

#### Vstupní parametry:

$d_1 = 10$  m,  $d_2 = 20$  m,  $d_3 = 20$  m,  $d_4 = 30$  m,  $d_5 = 30$  m,  $d_6 = 40$  m,  $d_7 = 50$  m,  
 $d_8 = 100$  m

$v_{\text{Robot}} \dots\dots\dots 0,5$  m/s

Počet zastávek  $\dots\dots\dots 16$

Nosnost  $\dots\dots\dots 4000$  g

#### Výstupní parametry:

$d_{\text{Celk}} = 600$  m

$t_{\text{Celk}} = 36$  min

Efektivita = 111 g/min

### 3.1.3. Modifikace oddělení do kancelářského uspořádání

Následující uspořádání řadí osm oddělení do dvou řad naproti sobě. Rozmístění ukazuje *Obr. 3.1.3.* Výpočet byl spočítán stejnou metodou jako v kapitole 3.1.1. a 3.1.2.

#### Vstupní parametry:

$d_1 = 5 \text{ m}$ ,  $d_2 = 11 \text{ m}$ ,  $d_3 = 17 \text{ m}$ ,  $d_4 = 23 \text{ m}$ ,  $d_5 = 5 \text{ m}$ ,  $d_6 = 11 \text{ m}$ ,  $d_7 = 17 \text{ m}$ ,  $d_8 = 23 \text{ m}$

$v_{\text{Rob}} \dots\dots\dots 0,5 \text{ m/s}$

Počet zastávek  $\dots\dots\dots 16$

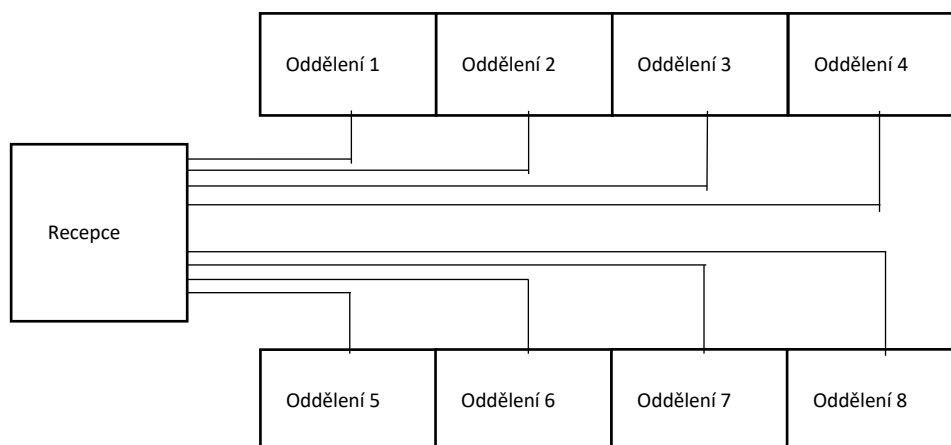
Nosnost  $\dots\dots\dots 4000 \text{ g}$

#### Výstupní parametry

$d_{\text{Celk}} = 224 \text{ m}$

$t_{\text{Celk}} = 23,5 \text{ min}$

Efektivita = 170 g/min



*Obr. 3.1.3. Kancelářské uspořádání*

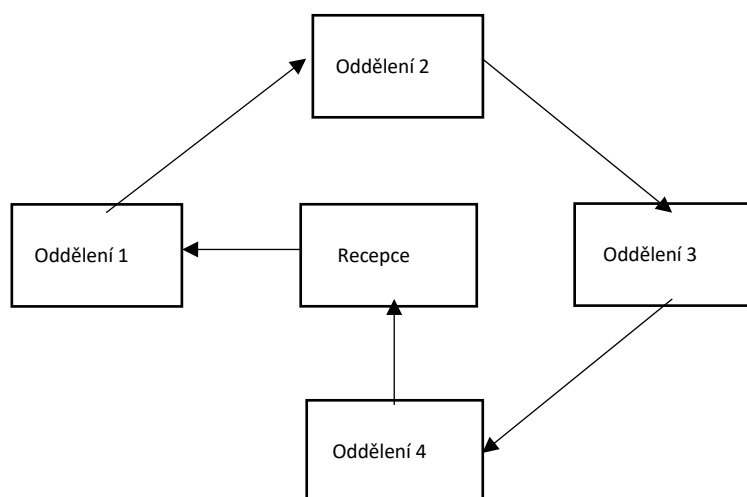


## 3.2. Systém hromadného převážení zboží

Toto je systém, kdy robot naloží všechno zboží najednou, a na patřičné zastávce dojde k vyložení správného zboží. Robot začne na recepci, poté pojedje na první oddělení, kde vyloží část nákladu. Od tam pojedje rovnou na druhé oddělení, kde vyloží další část nákladu, a tak dále, dokud nerozveze všechny zásilky. Výhodou je, že robot urazí kratší vzdálenost a zároveň provede jen jedno naložení. Celý systém tak bude rychlejší. Nevýhodou je, že maximální nosnost se nemění, a s větším počtem oddělení roste i množství zásilek, které je možné přepravit.

### 3.2.1. Modifikace se čtyřmi odděleními

Výpočet efektivity byl proveden podobně, jako v kapitole 3.1.1. Byla spočítána celková cesta, ze známé rychlosti byl spočítán čas cesty. Připočetly se časy strávené na jednotlivých zastávkách a celé se to převedlo na g/min. Cestu robota znázorňuje Obr. 3.2.1.



Obr. 3.2.1. Modifikace se čtyřmi odděleními

#### Vstupní parametry:

Rychlost robota ..... 0,5 m/s  
Nosnost robota ..... 4000 g  
Doba, strávená nakládáním nebo vykládáním ..... 1 minuta/ 2 minuty

### Seznam použitých veličin:

Vzdálenost i-tého oddělení od recepce .....  $d_i$  [m]  
Vzdálenost oddělení 1 a 2 .....  $X_1$  [m]  
Vzdálenost oddělení 2 a 3 .....  $X_2$  [m]  
Vzdálenost oddělení 3 a 4 .....  $X_3$  [m]  
celková vzdálenost .....  $d_{\text{Celk}}$  [m]  
Čas v sekundách .....  $t_s$  [s]  
čas v minutách .....  $t_{\text{Celk}}$  [s]

### Výpočet:

#### Celková cesta:

$$d_{\text{Celk}} = d_1 + X_1 + X_2 + X_3 + d_4 \quad (3.1.1.)$$

#### Doba trvání:

K času jízdy bylo potřeba přičíst čas nakládání a vykládání. Robot tento úkon provedl celkem pětkrát. Pro jednu minutu přičteme tedy + 5 a pro 2 minuty +10.

$$t_s = \frac{d_{\text{celk}}}{0,5} \quad (3.1.3)$$

Výsledek je v sekundách, vydělením číslem 60 jej převedeme na minuty.

$$t = t_s/60 + 5\text{minut}/10\text{minut} \quad (3.1.4)$$

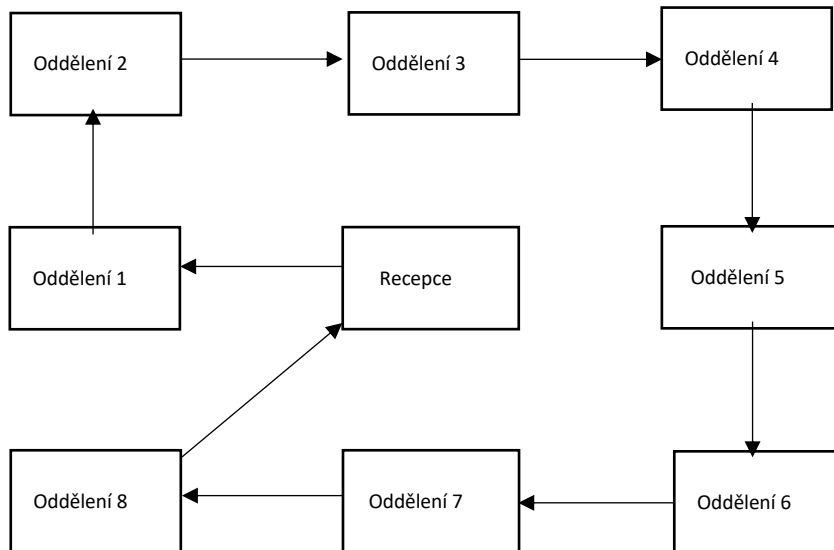
Robot má nosnost 4 Kg. Na jedno převezení je tedy možné dovézt 4000 g nákladu na jedno oddělení. Přepočtem 4000/t, zjistíme, kolik nákladu robot rozveze za jednu minutu.

Celý postup byl proveden šestkrát, pro různé vzdálenosti oddělení. Výsledky ukazuje tabulka Tab. 3.2.1.

Tab. 3.2.1.											
na 1 oddělení - 1000g/čas								1 min/zast.		2 min/zast.	
$d_1$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$d_4$	$X$	$t[s]$	$t[\text{min}]$	$t+5$	$g/\text{min}$	$t+10$	$g/\text{min}$
10	22,4	36,1	58,3	50	177	353,6	5,9	10,9	91,8	15,9	62,9
20	44	72	116	100	352	704	11,7	16,7	59,8	21,7	46,0
5	40	72	116	100	333	666	11,1	16,1	62,1	21,1	47,4
5	11	80	128	100	324	648	10,8	15,8	63,3	20,8	48,1
100	141	141	141	100	623	1246	20,8	25,8	38,8	30,8	32,5
10	14	14	14	10	62	124	2,1	7,1	141,5	12,1	82,9

### 3.2.2. Modifikace s osmi odděleními

Stejně jako v kapitole 3.1.2., tak i zde byl použit stejný postup, jako pro čtyři oddělení, ale byl rozšířen o další čirí oddělení, celkem tedy na osm. Cestu robota znázorňuje Obr. 3.2.2.



Obr. 3.2.2. Modifikace s osmi odděleními

#### Vstupní parametry:

$d_1 = 10$  m,  $X_1 = 17$  m,  $X_2 = 20$  m,  $X_3 = 25$  m,  $X_4 = 30$  m,  $X_5 = 35$  m,  $X_6 = 45$  m,  $X_7 = 75$  m,  $d_8 = 100$  m

$v_{Rob} \dots\dots\dots 0,5$  m/s

Počet zastávek  $\dots\dots\dots 9$  zastávek

Nosnost  $\dots\dots\dots 4000$  g

#### Výstupní parametry

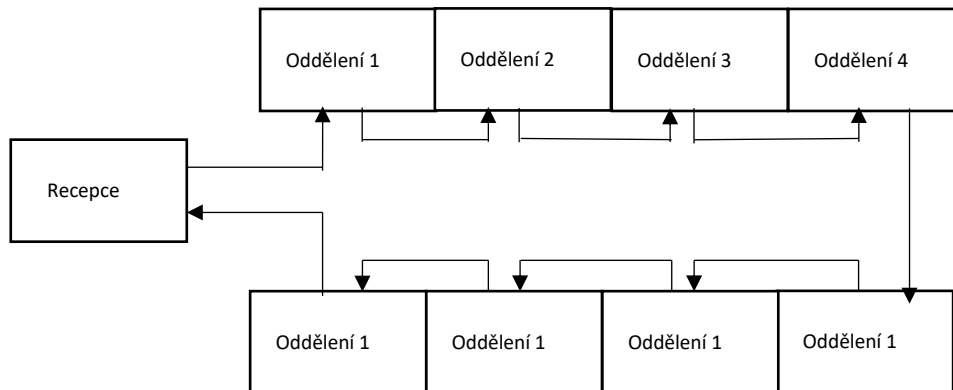
$d_{Celk} = 322$  m

$t_{Celk} = 19$  min

Efektivita = 25 g/min

### 3.2.3. Modifikace oddělení do kancelářského uspořádání

V této variantě bylo osm oddělení uspořádáno do dvou řad po čtyřech oddělení. Pro výpočet byl použit stejný postup, jako v kapitole 3.2.2.



Obr. 3.2.3. Kancelářské uspořádání

#### Vstupní parametry:

$d_1 = 7 \text{ m}$ ,  $X_1 = 9 \text{ m}$ ,  $X_2 = 14 \text{ m}$ ,  $X_3 = 14 \text{ m}$ ,  $X_4 = 4 \text{ m}$ ,  $X_5 = 14 \text{ m}$ ,  $X_6 = 14 \text{ m}$ ,  $X_7 = 9 \text{ m}$ ,  $d_8 = 7 \text{ m}$

$V_{\text{Rob}} \dots\dots\dots 0,5 \text{ m/s}$

Počet zastávek  $\dots\dots\dots 9$

Nosnost  $\dots\dots\dots 4000 \text{ g}$

#### Výstupní parametry

$d_{\text{Celk}} = 92 \text{ m}$

$t_{\text{Celk}} = 12 \text{ min}$

Efektivita = 83 g/min

### **3.3. Vyhodnocení**

Z modelů ukázaných v kapitolách 3.1. a 3.2. a následných výpočtů vyplývá, že systém hromadného převážení zboží je rychlejší než systém postupného převážení zboží, ale během jedné cesty na jedno oddělení dopraví menší množství nákladu. Ve výsledku je méně efektivní. Záleží tedy na konkrétní aplikaci, zda se bude převážet menší množství nákladu, které musí být dopraveno rychle, nebo se bude převážet větší množství nákladu, což bude trvat delší dobu.

## **4. Výběr perspektivní varianty**

Existuje mnoho způsobů, jak lze se zbožím manipulovat. Ať už přenos zboží dělají pouze lidé, lidé spolupracují s roboty, či je vše plně automatizované. Přepravují se zásilky samostatně, nebo jsou uloženy v boxech, které se převáží? Je mnoho možností, jak k problematice přistupovat, které se navíc dají kombinovat. V této kapitole se zaměřím na jednotlivé možnosti, jaké mají výhody a nevýhody, a na výběr konečné varianty.

### **4.1. Spolupráce s lidmi**

Jelikož zásilky převáží robot, jsou tři možnosti, jak by se lidé mohli zúčastnit. A to zboží nakládat, vykládat nebo dělat obojí. Výhody jsou, že lidé vždy naloží nebo vyloží správnou zásilku, protože si mohou jednoduše přecíst, co kam patří a jestli je zásilka určena pro ně. Nevýhodou je, že robot vždy musí čekat, dokud jej nenaloží, případně nevyloží. Pokud adresát nebude zrovna v místě doručení, bude se na něj muset počkat, což celý systém výrazně zdrží.

### **4.2. Přeprava v boxu**

Zde jsou dvě možnosti. První je, že se zboží bude přepravovat volně. Vždy se přesype, nebo bude nakládáno kus po kusu. Druhá možnost je, že každé oddělení, kam budou chodit zásilky, bude mít vlastní box. Na recepci se vždy přichodí zásilky roztrídí do příslušných boxů pro daná oddělení a nachystají k rozvozu. Systém pro přepravu pak nebude manipulovat s jednotlivými kusy zásilky, ale pouze s daným boxem. Robot naloží box se zásilkou, doveze do cílového oddělení, kde náklad vyloží a prázdný pojede zpátky pro další zásilku. Výhody jsou, že nezáleží na množství balíčků, nebo na jejich tvaru a velikosti, dokud se vše vleze do nachystaného boxu. Robot vždy bude nakládat a vykládat ten stejný box, pořád stejným způsobem. Nevýhodou je, že se musí vyrobit dostatečné množství boxů, což zvýší pořizovací a výrobní náklady. Dále se musí zajistit prostor pro skladování boxů a jejich distribuce po firmě.

### **4.3. Nakládací/vykládací stanice**

Zařízení, které bylo pracovně nazváno stanice, je externí zařízení, které není spojeno s přepravním robotem, ale je vždy umístěno na počátečním nebo cílovém místě. Cílem stanice je nakládat nebo vykládat zásilky na robota, který na tuto činnost není vybaven. V kombinaci s robotem mohou vzniknout tři různé kombinace pro zacházení s nákladem. Stanice nakládá i vykládá, stanice nakládá a robot vykládá, robot nakládá a stanice vykládá. Zásilky musí být roztríděné a naložené na stanici ručně.

#### Výhody:

Výhodou je, že transportní robot s sebou nemusí vozit další zařízení, které zvyšuje jeho hmotnost a spotřebovává energii. Navíc, zařízení, které je umístěné na robotovi, a je schopné nakládat i vykládat zboží, může být složité. Někdy je výhodnější sestavit dva jednodušší mechanismy než jeden složitý.

#### Nevýhody:

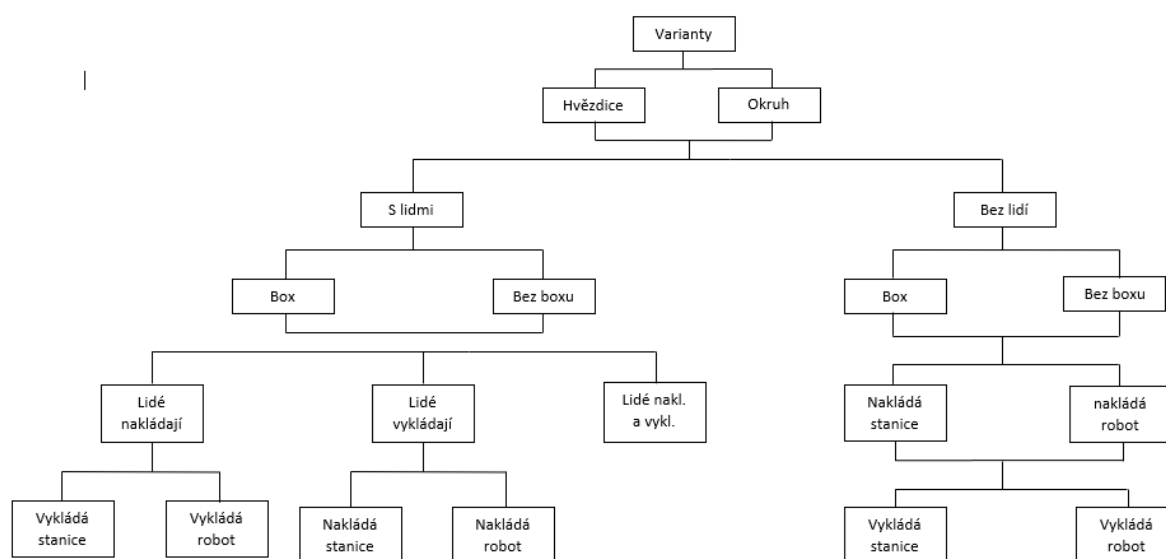
Největší nevýhoda spočívá v tom, když musí stanice zboží i vykládat. To znamená, že musí být umístěna v každém místě, kam rozvážíme zboží. Z toho vyplývá, že vyrobit dostatečný počet stanic je velice nákladné, a celková cena se několikanásobně zvětší.

### **4.4. Robot**

U robota, stejně jako v kapitole 4.3. máme tři možnosti. Robot nakládá, vykládá, nebo dělá obojí. To je možné kombinovat se stanicí, nebo s lidmi. První a třetí možnosti, tedy ty, kde robot zboží nakládá, jsou nejvíce složité. Existuje velké množství možností, jak zboží naložit.

## 4.5. Výběr finální varianty

V kapitolách 4.1. až 4.4. byly zpracovány různé možnosti, jak zboží nakládat a vykládat. Na základě těchto znalostí byla vybrána vhodná kombinace, která splňuje zadání a vyhovuje zadaným požadavkům. Zadání bylo, že mám navrhnout zařízení, které bude umožňovat nakládku i vykládku. Z toho důvodu není možné, aby tuto činnost dělali lidé. Na Obr. 4.5. jsou sestaveny všechny možné kombinace, které byly probrány v předchozích kapitolách.



Obr. 4.5. Možné kombinace

Na finální zařízení bylo kladeno několik podmínek. Hlavní dvě podmínky byly nízká výrobní cena a jednoduchost. Cílem bylo navrhnout mechanismus, který bude levný na výrobu, jednoduchý na sestavení, bude mít co nejméně pohyblivých částí, aby se snížila poruchovost. Také byla snaha, aby na řízení mechanismu bylo potřeba co nejméně elektromotorů. čímž se sníží cena, i šance na poruchu. Zároveň začaly vznikat návrhy, na nakládací a vykládající mechanismy stanice i robota, které jsou popsány v kapitole 5. Na základě daných parametrů a podmínek, a navržených mechanismů z kapitoly 5. bylo učiněno několik rozhodnutí. Za první, budou sestaveny dvě zařízení, stanice na nakládání zboží, a zařízení pro robota, které bude vykládat. Za druhé, zboží se bude nakládat i vykládat vyklápěním. Za třetí, stanice bude navrhována tak, aby do budoucna umožňovala manipulaci s již roztržným zbožím, bez jeho pomíchání. Všechna rozhodnutí jsou popsána podrobněji v následujících odstavcích.

Prvně bylo rozhodnuto, že stanice bude nakládat, a robot vykládat. Pokud bude zboží naloženo a vyloženo pouhým vyklopením, pak na to stačí dva jednoduché mechanismy, které nepotřebují složité konstrukce nebo velké množství motorů. Dále, pro celou distribuci pošty stačí dva kusy zařízení, kde nezáleží na počtu míst, kam budeme poštu rozvážet.

Ve druhém rozhodnutí bylo řečeno, že zboží se bude vyklápět. Jelikož jde o malé balíčky a obálky, které nejsou velice křehké a nevyžadují jemné zacházení, je možné zvolit tuto jednoduchou, ale účinnou metodu.

Za třetí je návrh, že stanice bude navrhována tak, aby mohla být do budoucna rozšířena za účelem manipulace s již roztríděným zbožím, kde bude nakládat pouze ta část zásilek, které míří na dané oddělení. Princip fungování stanice byl zvolen tak, že robot přijede pod stanici, kde je naložené zboží, to je následně vysypáno na robota.

## **5. Analýza možných principů manipulace s nákladem**

V této kapitole jsou znázorněny návrhy nakládací stanice. Na několika jednoduchých schématech je znázorněna konstrukce a princip fungování.

### **5.1. Princip fungování stanice**

Jak bylo řečeno v kapitole 4.5., stanice by měla umožňovat nakládání pouze vybrané várky pošty. Pro tento účel bylo zvoleno, že stanice se bude skládat z kvádrových bloků, které budou poskládány na sobě a budou tvořit věž. Jeden kvádr bude tvořit jedno patro, kde každý blok má posuvné dno. Určíme, že každé oddělení bude mít své patro, tedy prvnímu oddělení bude přiděleno patro jedna, druhému oddělení patro číslo dvě atd. Robot vždy přijede pod první patro, naloží náklad a zaveze ho na první oddělení, kde jej vyloží. Mezitím se zásilka v druhém patře přemístí do volného prvního patra. Zásilka ze třetího patra se vysype do druhého, a tak dále, dokud se neposunou všechny várky. Když se robot vrátí, naloží várku, která míří do druhého oddělení, a celý proces se opakuje. Tohle proběhne, tolikrát, kolik je zásilek na dané oddělení.

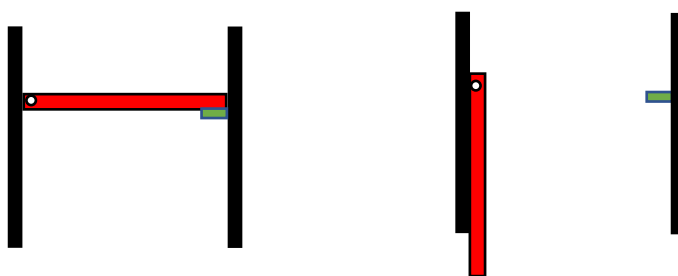


## 5.2. Návrhy stanice

Na následujících schématech je vždy znázorněn mechanismus pohyblivého dna stanice. Černě jsou stěny, červeně dno a zeleně jsou pohyblivé zarážky, které drží dno.

### 5.2.1. Sklápění dna

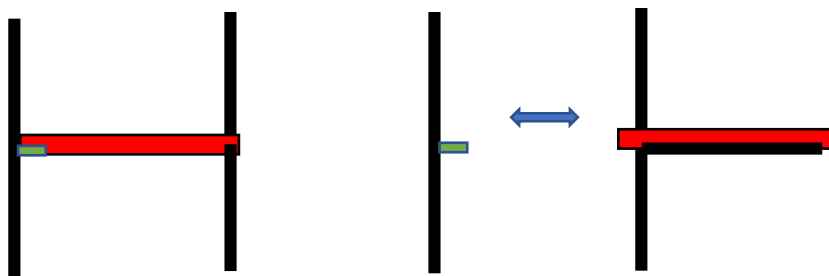
První navržená varianta, zobrazená na *obr. 5.2.1.*, je jednoduché sklápění dna. Jedna strana by byla umístěna na hřídel a připevněna ke stěně. Na hřídel by byl poté přiveden moment, který by dnem otáčel. Na druhé straně je malá pohyblivá zarážka, která by dno vždy držela ve vodorovné rovině, aby nemusel pracovat motor. Výhodou je, že stanice zabírá pouze prostor určený jejími čtyřmi stěnami. Nevýhodou je, že jsou potřeba dva motory, jeden pro otáčení dnem, a druhý pro posouvání zarážky, která drží dno.



*Obr. 5.2.1. Sklápění dna*

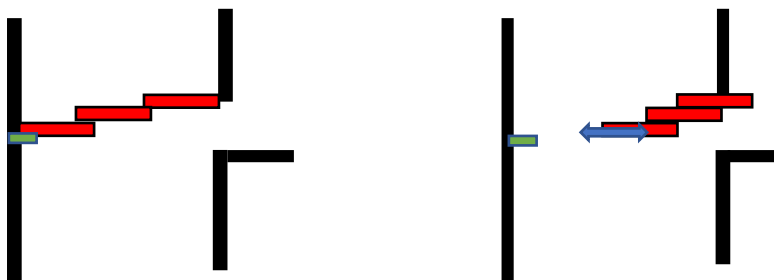
### 5.2.2. Vysouvání dna

Druhá varianta, zobrazená na *Obr. 5.2.2.* navrhuje vysouvání dna do boku. V bočních je dno usazeno do drážek, které kontrolují jeho pohyb. Na vysunutí je potřeba pouze jeden motor. Celý systém má jen jednu pohyblivou část. Nevýhodou je, že pohyb je veden ven ze stanice, je potřeba dvakrát tolik prostoru pro stanici. Také hrozí, že může dojít k poškození stanice při vysunutí dna během neopatrného zacházení se stanicí.



### 5.2.3. Zasouvání dna

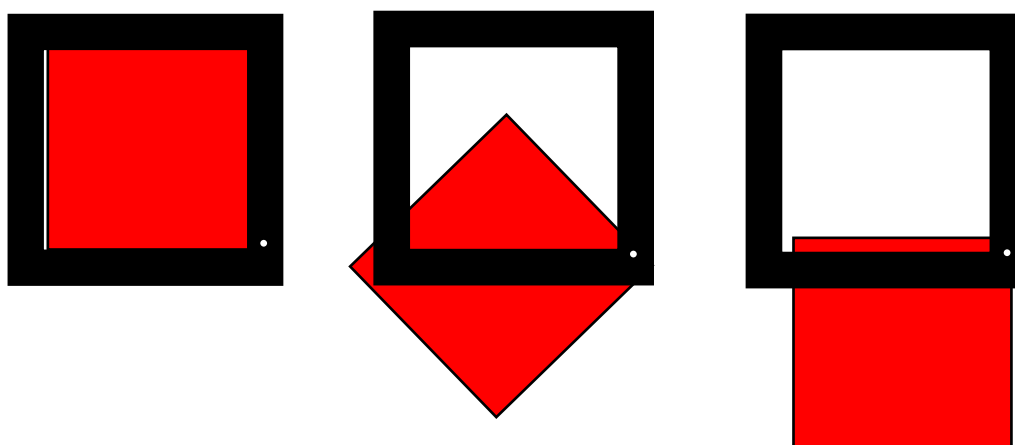
Třetí varianta funguje na obdobném principu, jako návrh v kapitole 5.2.2., kde dochází k vysouvání do boku. V tomto případě je dno rozděleno do několika částí, které se vysouváním skládají na sebe. Dno je vedeno v drážkách ve stěnách, a na pohyb stačí jeden motor, stejně jako v předchozí kapitole. Tuhle variantou je ale zmenšována nevýhoda předchozího návrh, kde by dno zabíralo příliš místa mimo stanici.



Obr. 5.2.3. Zasouvání dna

### 5.2.4. Otáčení dna

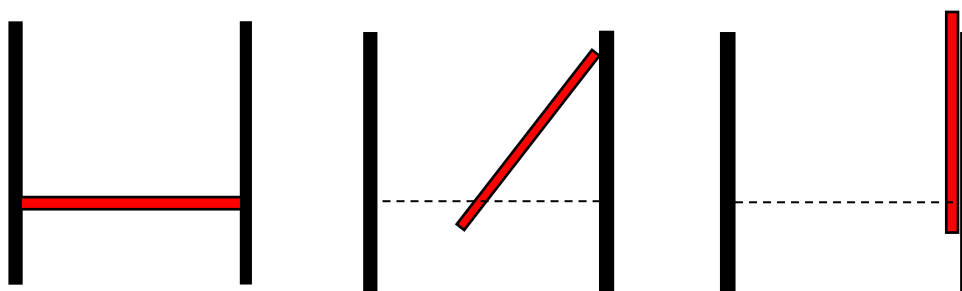
Ve variantě číslo čtyři dochází k přemístění dna mimo stanici pomocí rotačního pohybu, nikoli translačního. Variantu je možné zrealizovat pouze s jedním motorem. ovšem celé dno se nachází ve volném prostoru. Tím zabírá mnoho prostoru navíc a hrozí jeho poškození. Aby se tomu zabránilo, musí být postavena další ochranná konstrukce, která bude stát další materiál a zvýší finanční náklady.



Obr. 5.2.4. Otáčení dna(pohled shora)

### 5.2.5. Sklápění dna

V poslední uvedené variantě dochází ke sklápění dna uvnitř stanice. Velkou výhodou je, že stanice nezabírá místo navíc. A vše se odehrává uvnitř, žádné pohyblivé části nezasahují mimo stěny, kde by mohlo dojít k jejich poškození nebo ke zranění obsluhy.



Obr. 5.2.5.Sklápění dna

## 5.3. Výběr mechanismu stanice

V kapitole 5.2. bylo ukázáno pět návrhů, jak by mohl mechanismus fungovat. Z těchto pěti variant se poté vybrala jen jedna. Po domluvě s vedoucím práce byl vybrán mechanismus popsáný v kapitole 5.2.5. Sklápění dna. Jedním z důvodů bylo, že dno se pohybuje pouze uvnitř zařízení, a nebude zabírat extra prostor navíc kolem sebe.

## 6. Návrh prototypů

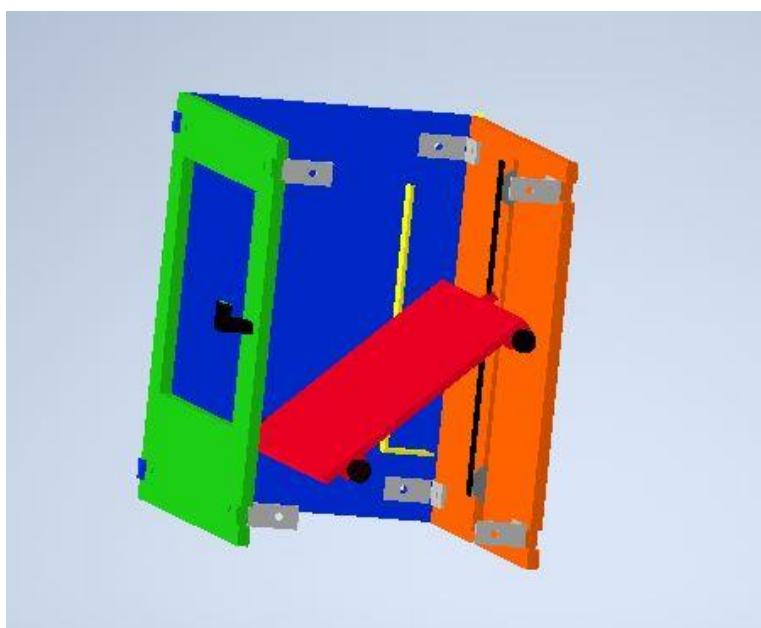
V kapitolách 3 až 5 bylo popsáno, jako bude celý systém fungovat. Bylo rozhodnuto, že nakládku a vykládku budou zajišťovat dvě zařízení. Vykládací zařízení, které bude připojeno na robota, a druhé zařízení, které se bude nacházet na recepci a které bude zajišťovat nakládku zásilek.

Zvolená výrobní metoda pro většinu dílů obou zařízení je 3D tisk. Tento výrobní proces byl zvolen z několika důvodů. Náklady na materiál, možnost vytisknout součástky libovolných tvarů, které nepřesahují maximální rozměry, co umožňuje 3D tiskárna.

Pro návrh obou zařízení byl zvolen program Autodesk Inventor Professional 2020. Ten obsahuje vlastní funkci přímého 3D tisku navrhnutých komponent.

## 6.1. Návrh nakládající stanice

Cílem prototypu je otestovat funkčnost navrženého mechanismu a zjistit veškeré nedostatky, které se zde nacházejí. Z tohoto důvodu byla stanice navrhována ve zmenšeném modelu, který otestuje vhodnost konstrukce. Zmenšením konstrukce je také docíleno snížení nákladů na materiál, a čas potřebný pro vytisknutí.



Obr. 6.1. Nakládací stanice

### 6.1.1. Pohybový mechanismus

Prvně bylo zvoleno, jakým způsobem bude pohyb dna uskutečňován. Od návrhu pohybového mechanismu se poté odvíjí konstrukce celého zařízení, které na to musí být přizpůsobeno a musí umožňovat instalaci, a následný pohyb všech potřebných částí.

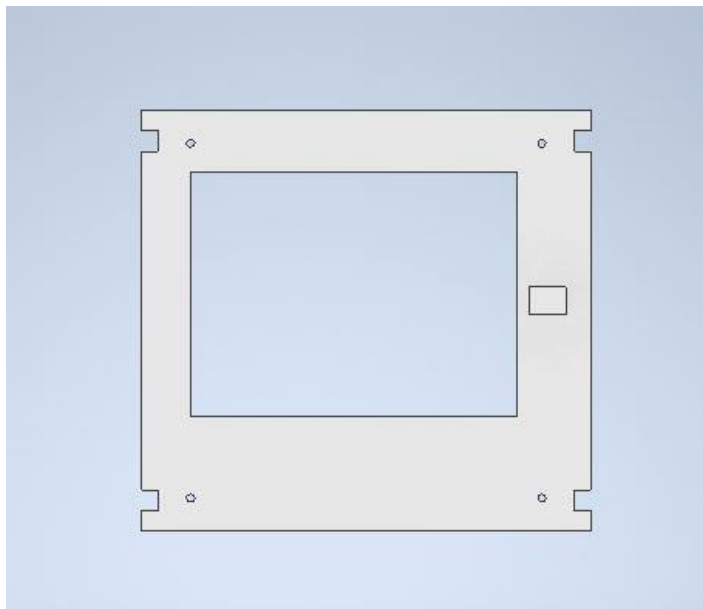
Pohyb je zajištěn pomocí řemenového převodu. V horní a dolní části zadní stěny jsou umístěny dvě řemenice, mezi kterými je veden řemen. Dolní řemenice je umístěna na krátké hřídeli společně s druhým ozubeným kolem. Na toto ozubené kolo je přiváděn moment z elektromotoru. Jedna část řemene se nachází uvnitř konstrukce, zbytek mechanismu je umístěn za zadní stěnu. Dno je ve svém středu připevněno na řemen. Otáčením elektromotoru dochází k otáčení řemenic, které způsobí pohyb řemene. Tím dojde ke zvedání, či klesání jedné strany dna, čímž dojde k pohybu.

### 6.1.2.Návrh nosné konstrukce

Konstrukce byla navrhována ve zmenšeném měřítku. Hlavním důvodem pro toto rozhodnutí bylo ušetření materiálu potřebného k výrobě.

#### Přední stěna

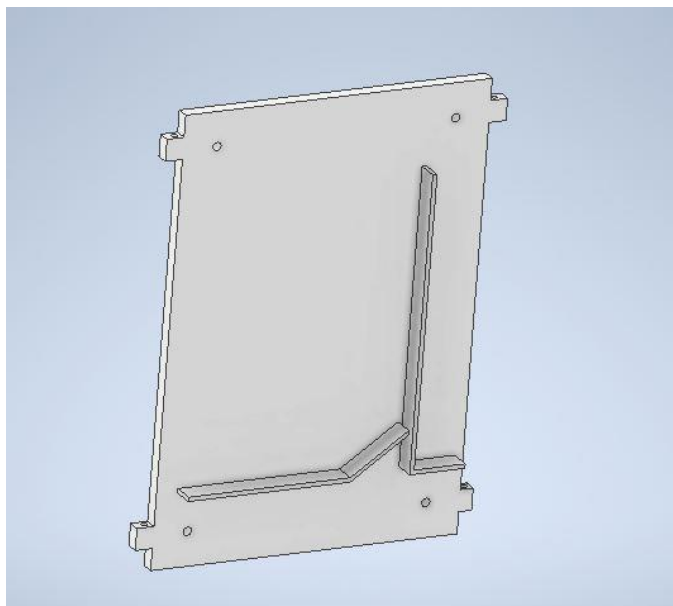
Přední stěna má tvar desky o rozměrech 103x110 mm. Tloušťka stěny je 3 mm. Na pravé i levé straně desky se nachází dva 4 milimetry hluboké výřezy. Spodní výřez je 5 mm od spodní strany, a horní výřez je 5 mm od horní strany desky. Výřezy slouží k tomu, aby zde mohly být zasazeny boční stěny. Uprostřed desky se nachází velké obdélníkový otvor, který slouží jako okno pro umístění zásilky.



Obr. 6.1.2.1. Přední stěna

#### Boční stěna

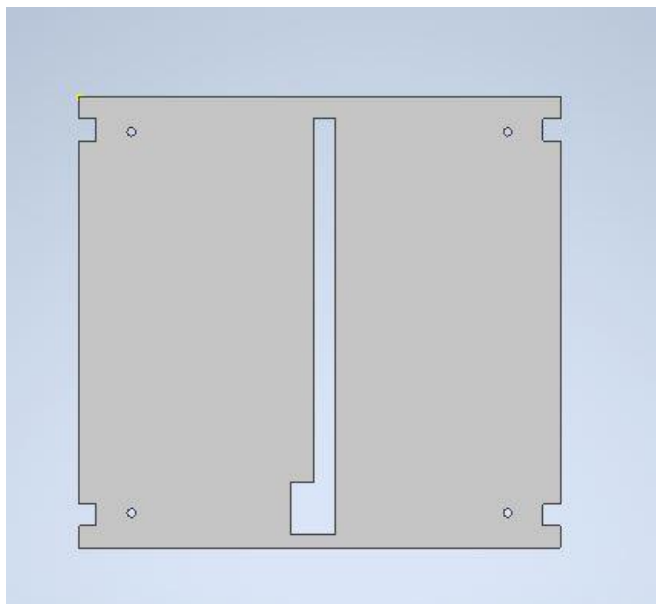
Levá boční stěna je zobrazená na Obr. 6.1.2.2. Pravá stěna je zrcadlově převrácena podle boční stěny. Boční stěna má rozměry 103x72 mm. Na každé boční stěně se nachází dvě vysunutí, které pasují do výřezů v přední a zadní stěně. Na vnitřní stranu desky jsou umístěny dva tenké panely. Ty slouží jako prostor, po kterých bude jezdit dno.



*6.1.2.2. Levá boční stěna*

### **Zadní stěna**

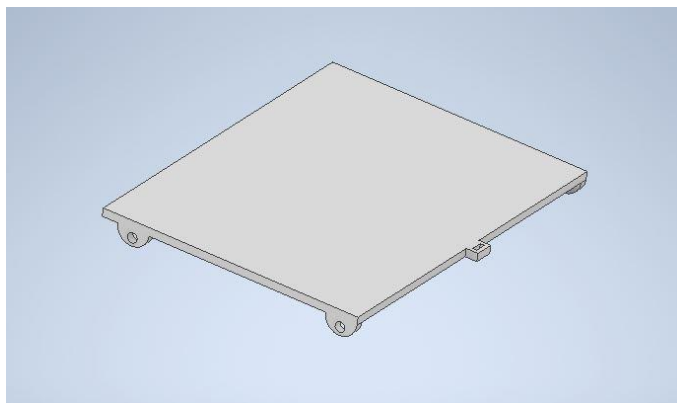
Zadní stěna má tvar desky o rozměrech 103x110 mm. Stejně jako přední stěna, tak i zde se nachází dva výřezy na každé straně pro uložení bočních stěn. Uprostřed stěny se nachází otvor specifického tvaru, který slouží pro to, aby zde mohl být veden pohonný mechanismus.



*Obr. 6.1.2.3 Zadní stěna*

### 6.1.3.Návrh pojízdného dna

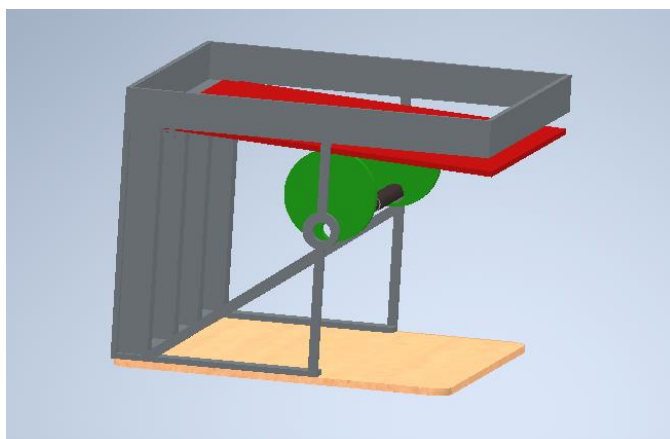
Dno má tvar desky o rozměrech 90x65 mm. Uprostřed jedné delší stěny se nachází vysunutí, které obsahuje obdélníkový otvor. Ten slouží k umístění a připevnění řemene, který bude zajišťovat pohyb. Na spodní straně jsou umístěny čtyři kruhové otvory, které slouží pro uchycení hřídelí s pojízdnými koly.



Obr. 6.1.3. Pojízdné dno

### 6.2.Návrh vykládajícího zařízení

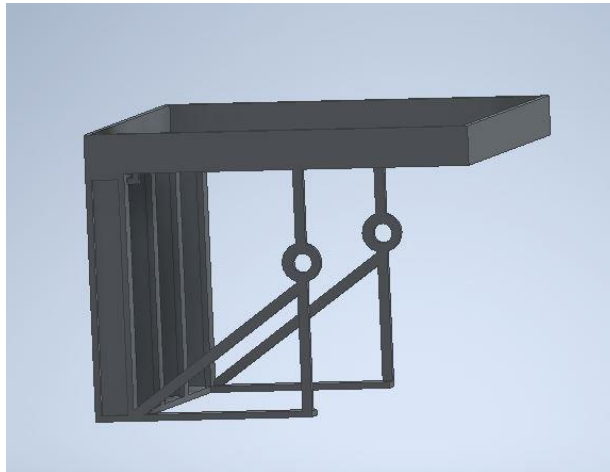
Zařízení je navrženo tak, aby pasovalo na mobilní robot, který zajišťuje přepravu. Tvoří jej nosná rámová konstrukce, která je 150 mm vysoká. Pod jejím vrcholem je připevněno sklápěcí dno, na kterém bude umístěna zásilka. Sklopením dna dolů dojde k vyložení nákladu. Dno podpírají dvě vačky, které jsou uloženy na společné hřídeli. Rotací hřídele dochází k otáčení vaček, čímž nastává pohyb dna. Hřídel je roztáčena pomocí elektromotoru přes šnekovou převodovku. Příkaz pro vyklopení nákladu pochází přímo z robotova počítače. Stejně tak energie bude dodávána z vestavěné baterie v robotovi.



Obr. 6.2. Vykládací zařízení

### 6.2.1.Nosná konstrukce

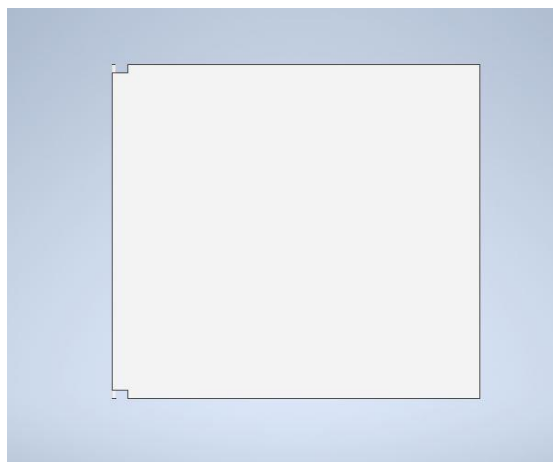
Nosná konstrukce je zobrazena na Obr. 6.2.1. Základ tvoří rámová konstrukce. Ve vrchní části je připevněn rám, který zajišťuje náklad, aby nevypádal.



*Obr. 6.2.1. Nosná konstrukce*

### 6.2.2.Dno

Dno je tvořeno deskou o rozměrech 188x170 mm. Na jedné kratší straně jsou v každém rohu dva výřezy. Ty slouží pro umístění kolíku, kterým bude dno připevněno k rámové konstrukci a budou sloužit jako bod rotace.

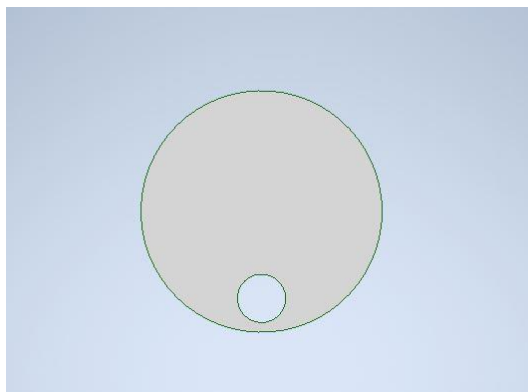


*Obr. 6.2.2. Pohyblivé dno*



### 6.2.3.Vačka

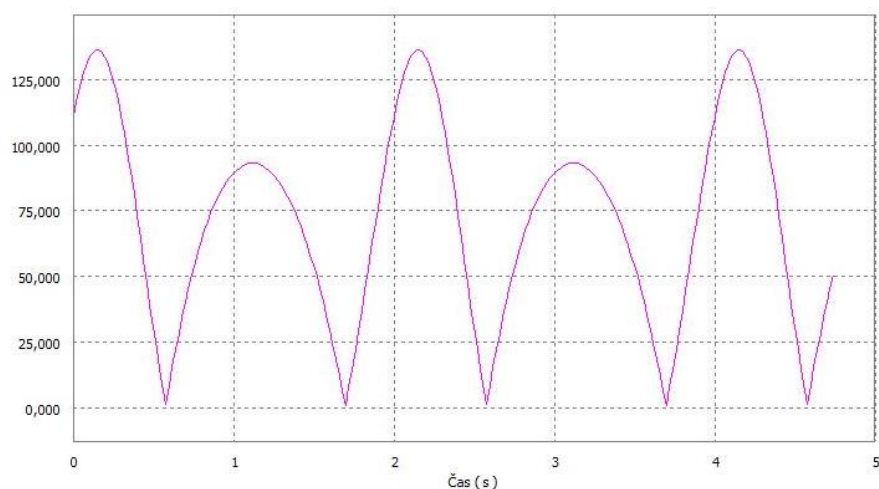
Tvar vačky byl zvolen kruhový, se středem otáčení mimo střed vačky. Průměr vačky je 50 mm. Střed otáčení vačky je posunut o 18 mm od geometrického středu. V místě otáčení je kruhový otvor, který slouží pro uchycení na hřídel.



Obr. 6.2.3. Vačka

### 6.2.4.Dynamická analýza

V programu Inventor, ve kterém byly modely vytvořeny, lze také provádět dynamické simulace. Proto všechny jednotlivé části byly k sobě připojeny pomocí příslušných vazeb. Pro hřídel, na které jsou umístěny vačky, byla nastavena rychlost otáčení na 180°/sekundu. Tím bylo docíleno pohybu mechanismu konstantní rychlostí. Byly sledovány pohyby dvou bodů. Konec dna střed vačky. pro tyto body jsme vyhodnocovali rychlost a zrychlení. Závislost rychlosti na čase konce sklápěcího dna je vidět na Obr. 6.2.4. Maximální rychlost dosahuje 136 mm/s a zrychlení 430 mm/s<sup>2</sup>.



Obr. 6.2.4. Závislost rychlosti pohyblivého dna na čase

## 7. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval návrhem zařízení, které umožní nakládku a vykládku zboží na mobilní robot. Pro správný návrh bylo potřeba znát několik důležitých informací ohledně systému doručování zásilek a dodržet zadané podmínky. V kapitole 3. byly popsány dva systémy, kterými je možné zásilky doručovat. Z nich byl vybrán jeden systém, a to ten, kdy robot doručuje zboží po jednotlivých oddělení.

Ve čtvrté kapitole jsem se zabýval možnostmi, jak bude se zbožím manipulováno. Bylo vybráno, že náklad bude na robota nakládán pomocí zařízení, které k tomu bude navrženo a bude umístěno na recepci, kde bude docházet ke třídění zásilek. Vykládání bude zajištěno pomocí mechanismu, který je umístěn přímo na robotovi.

Po určení způsobu nakládání a vykládání zboží došlo k návrhu obou zařízení. Nakládací stanice obsahuje mechanismus, který umožní zvednutí jeho dna, na kterém je umístěno zboží, čímž vyklopí náklad přímo na robota. Robot má zásilku umístěnou na sklápěcí plošině. Pomocí mechanismu s vačkami dochází k naklápění plošiny, která vyklopí zboží v cílovém oddělení.

V době dopisování bakalářské práce a čase odevzdání nebyly oba prototypy fyzicky sestaveny. A to z důvodů nečekaného zdržení způsobené mimořádnou situací a nouzovým stavem. Práce na sestavování prototypů byla obnovena v čase odevzdávání bakalářské práce.

## 8. Seznam použitých zdrojů

1. **Shigley, Joseph E.** *Konstruování strojních součástí*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2010.
2. **Svoboda, Pavel.** *Základy konstruování*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2015.
3. **Řemenové převody.** [Online] [Citace: 1. 6 2020.] <https://eluc.kr-lomoucky.cz/verejne/lekce/1902>.
4. **Autocad Inventor.** [Online] Září 2019. <https://www.autodesk.cz/>.
5. **VAčkový mechanismus** . [Online] <https://eluc.kr-lomoucky.cz/verejne/lekce/1910>.
6. **Zdeněk Florian, Emanuel Ondráček.** *Mechanika těles - Statika*. místo neznámé : Praha: SNTL, 1986.

## 9. Seznam obrázků

Obr. 3.1. Obecné umístění čtyř oddělení . . . . .	3
Obr. 3.1.1. Modifikace se čtyřmi odděleními . . . . .	4
Obr. 3.1.2 Modifikace s osmi odděleními . . . . .	6
Obr. 3.1.3. Kancelářské uspořádání . . . . .	7
Obr. 3.2.1. Modifikace se čtyřmi odděleními . . . . .	8
Obr. 3.2.2. Modifikace s osmi odděleními . . . . .	10
Obr. 3.2.3. Kancelářské uspořádání . . . . .	11
Obr. 4.5. Možné kombinace . . . . .	14
Obr. 5.2.1. Sklápění dna . . . . .	16
Obr. 5.2.2. Vysouvání dna . . . . .	16
Obr. 5.2.3. Zasouvání dna . . . . .	17
Obr. 5.2.4. Otáčení dna . . . . .	17
Obr. 5.2.5. Sklápění dna . . . . .	18
Obr. 6.1. Nakládací stanice . . . . .	19
Obr. 6.1.2.1. Přední stěna . . . . .	20
Obr. 6.1.2.2. Levá boční stěna . . . . .	21
Obr. 6.1.2.3 Zadní stěna . . . . .	21
Obr. 6.1.3. Pojízdné dno . . . . .	22
Obr. 6.2. Vykládací zařízení . . . . .	22
Obr. 6.2.1. Nosná konstrukce . . . . .	23
Obr. 6.2.2. Pohyblivé dno. . . . .	23
Obr. 6.2.3. Vačka . . . . .	24
Obr. 6.2.4. Závislost rychlosti pohyblivého dna na čase. . . . .	24